

Getränkeproduktion per Knopfdruck – Konzeptstudie „Bottling on Demand“

Jennifer Schöffel

Digitalization and Data Technology
Corporate Research and Development

Krones AG
Böhmerwaldstraße 5
93073 Neutraubling
E-Mail: jennifer.schoeffel@krones.com

Andreas Gschrey

Digitalization and Data Technology
Corporate Research and Development

Krones AG
Böhmerwaldstraße 5
93073 Neutraubling
E-Mail: andreas.gschrey@krones.com

ABSTRACT

Im vorliegenden Artikel wird die Konzeptstudie „Bottling on Demand“ der Krones AG vorgestellt. Der Begriff „On-Demand“ tritt immer häufiger in Erscheinung. Unter „On Demand“ versteht man das sofortige zur Verfügung stellen des individuell gewünschten Produkts, unmittelbar bei Bedarf. Ob es sich hierbei um einen individuell gewünschten Film (Video On Demand), das selbst erstellte Buch (Book on Demand) oder nur um eine sofortige Lieferung des persönlich Bestellten (Amazon Prime) handelt, immer wird hier auf Bedarf etwas neu erstellt, zur Verfügung gestellt oder zeitnah geliefert.

Was im Privaten bereits seit Jahren gang und gäbe ist, ist im produzierenden Gewerbe, speziell in der Getränkeindustrie, noch nicht überall angekommen. Eine Getränkeproduktion von einzelnen Flaschen, individuell auf Bestellung, ist zu Preisen der Massenfertigung aus technischen Gründen noch nicht möglich. Stattdessen werden große Chargen des gleichen Produkts produziert, um den prognostizierten Getränkekonsum des Verbrauchers zu decken. Um eine effiziente Auslastung der Produktionslinie erreichen zu können, werden einzelne Produktsorten in großen Mengen hergestellt, abgefüllt und zwischengelagert. Je nach Bestellung des Auftraggebers, in den meisten Fällen ein Händler, werden die einzelnen Produktsorten aus dem Lager genommen und z.B. an den Supermarkt geliefert. Um ein einwandfreies Produkt garantieren zu können, darf die Lagerzeit der Produkte einen Schwellwert nicht überschreiten. Andererseits darf ein Lagerplatz eines Produktguts nicht zur Neige gehen, da eine schnelle Nachproduktion in der Regel nicht oder nur mit Verlust von Effizienz möglich ist. Die korrekte Prognose des benötigten Bedarfs erfordert eine gute Einschätzung des Absatzes um Über- oder Unterproduktion zu vermeiden. Gerade in den Sommermonaten, in denen sich der Konsum je nach Wetterlage schnell ändert, kann es zu Engpässen bei z.B. verschiedenen Bier- oder Getränkesorten kommen.

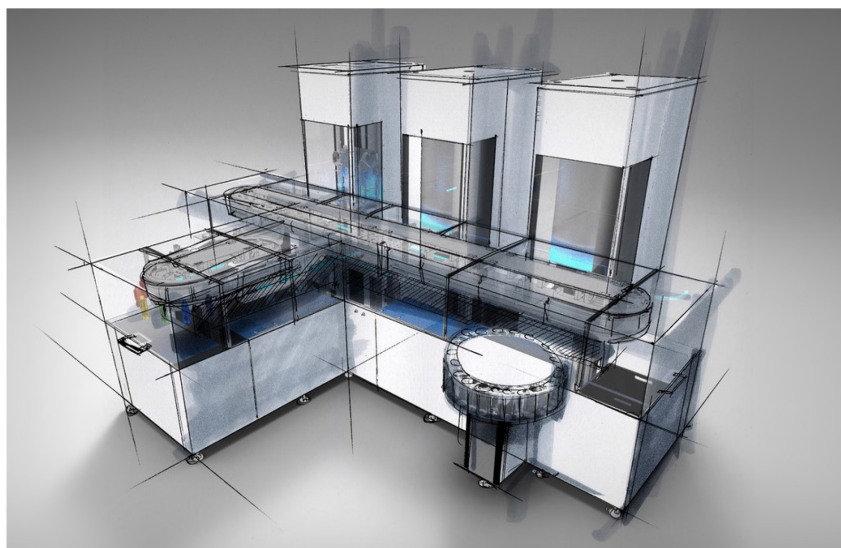


Abbildung 1: Konzeptstudie Digitalisierung "Bottling on Demand"

SCHLÜSSELWÖRTER

Kleinstchargen, Losgröße 1, kundenspezifische Bestellung, Produktion On Demand, Agenten, Individualisierung

BESCHREIBUNG DES PROJEKTS

Die Konzeptstudie „Bottling on Demand“ soll aufzeigen, dass es mit der heutigen zur Verfügung stehenden Technik schon möglich ist, auch in der Getränkeproduktion ein Produzieren auf Knopfdruck zu realisieren, und zwar individuell und angepasst auf den Kundenwunsch. Dabei wurden die einzelnen Produktionsschritte Etikettieren, Füllen und Verschließen dynamischer gestaltet, damit eine Individualisierung des Produkts erfolgen kann.

Zur Bestellung steht dem Kunden eine App zur Verfügung, mit der er die Konfiguration seiner eigenen Flasche selbst vornehmen kann. Die Auswahl erstreckt sich auf die Wahl der Behältergröße (0,44l oder 0,33l), auf das Behälterdesign (1 von 12 vordefinierten Design-Bildern), auf einen zweizeiligen Text (z.B. seinen Namen), auf das Füllprodukt mit einer Auswahl aus 13 Sorten und auf die Verschlussfarbe (rot, orange, grün und hellblau). Mit den angebotenen Auswahlmöglichkeiten sind bereits 1.248 unterschiedliche Produktkonfigurationen möglich, ohne dabei noch die Eingabe von individuellen Texten zu berücksichtigen.

DIE KOMPONENTEN DER FLEXIBLEN PRODUKTION

Um eine flexible Produktion zu realisieren, müssen die einzelnen Produktionsschritte neugestaltet, z.T. grundlegend neu entwickelt werden.

Im Weiteren werden die einzelnen Produktionsschritte einer Getränkeabfülllinie anhand einer Standard-Abfülllinie erklärt und mit den vorgenommenen Änderungen für „Bottling on Demand“ verglichen.

Produktbehälter / Flaschen

Standard

In einer Linie kann bei einer aktiv laufenden Charge/Produktion immer nur eine Flaschengröße / -typ verarbeitet werden. Soll auf ein anderes Format gewechselt werden, so muss die Fülllinie gestoppt und ggf. einzelne Teile der Maschine auf das neue Format umgerüstet bzw. ausgetauscht werden. Während des Stillstandes kann nicht produziert werden. Dies hat zur Folge, dass die Produktionsreihenfolge mit bedingtem Formatwechsel zeitlich gut geplant werden muss, um unnötigen Produktionsausfall zu vermeiden. Eine schnelle Reaktion auf einen kurzfristig entstandenen Bedarf ist nur unter großen Umständen möglich.

Bottling on Demand

Die Entwicklung aller Maschinenteile wurde mit der Forderung nach unterschiedlichen Behältergrößen

forziert. Verschiedene Flaschengrößen sollten unabhängig voneinander im System verarbeitet werden können. Durch das neu entwickelte Transportsystem, das den Behälter ausschließlich am Tragrings transportiert, können unterschiedliche Flaschengrößen ohne mechanischen Umbau gehandhabt werden. Für die Konzeptstudie wurden Behälter in zwei Größen verwendet (0,44l und 0,33l).



Abbildung 2: Zeichnung von Behältern in zwei Größen (0,33l und 0,44l) am Transport-Shuttle



Abbildung 3: Flaschenstrom in der BoD

Flexibles Füllen

Standard

Das gewünschte Füllprodukt wird im Mixer ausgemischt und kommt anschließend im Ringkessel des Füllers an. Dort befinden sich große Mengen des fertigen Produkts. Gefüllt wird daher immer nur eine Produktsorte und immer die gleiche Füllmenge pro Behälter. Soll das Füllprodukt gewechselt werden, so muss das restliche Füllgut im Ringkessel in Flaschen gefüllt oder entleert werden. Anschließend erfolgt eine Reinigung. Ändert sich auch der Produktbehälter, so müssen gegebenenfalls auch mechanische Teile der Maschine getauscht werden.

Bottling on Demand

Damit die Produktfüllung des Behälters ohne zeitliche Verzögerung, z.B. durch eine Reinigung, von Füllung mit Sorte 1 auf Füllung mit Sorte 2 umstellbar ist, musste ein neues Füllventil entwickelt werden. Die verschiedenen Füllprodukte werden nicht mehr, wie bisher, außerhalb des Füllmoduls vorbereitet und über eine lange Produktleitung zum Füllventil geführt, sondern die Füllprodukte werden direkt über der Flasche im Füllventil vorbereitet. Über drei direkt am Ventil angeschlossene Dosageleitungen können verschiedene Sirupe zudosiert werden. Das Ausmischen des Endprodukts erfolgt im Füllventil. Über die Hauptleitung wird das Füllgut in die Flasche gefüllt. Für jede Flasche können unterschiedliche Sirupmengen realisiert werden, sodass jede Flasche individuell gefüllt wird. Unterschiedliche Füllmengen werden über automatisierte Programmabläufe gesteuert. Im „Bottling on Demand“ sind 13 verschiedene Produktsorten abfüllbar, ohne beim Wechsel an Produktivität einzubüßen.



Abbildung 4: Produktvielfalt mit einem einzigen Füllventil

Flexibles Verschließen

Standard

In einer Produktionslinie werden die Flaschen immer mit demselben Verschluss versehen. Soll der Verschluss gewechselt werden zu muss die Maschine gestoppt, die Zuführriemen der Deckel komplett geleert werden. Erst jetzt kann die Verschlusszuführung mit den neuen Deckeln aufgefüllt werden. Ein Wechsel der Verschlusskappe beinhaltet immer eine Unterbrechung der Produktion und muss somit sorgfältig geplant werden.

Bottling on Demand

Zum Verschließen stehen vier verschiedene Verschlüsse (unterschiedliche Farbe bei gleicher Bauform) zur Verfügung. So kann die Farbe des Verschlusses individuell und passend zu Füllgut oder aufgedrucktem Label gewählt werden. Da jeder Verschluss aus einer eigenen Zuleitung entnommen wird, können unterschiedliche Deckel nacheinander verwendet werden, ohne eine Ausleitung oder ein Leerfahren einer befüllten Rinne anstoßen zu müssen.



Abbildung 5: Flexibilität im Verschluss

Flexibler Direktdruck

Standard

Auf jede Flasche wird dasselbe Etikett aufgebracht. Der Wechsel von Etikettenrollen ist zwar bei laufender Produktion möglich, ist jedoch derzeit nur für das auffüllen von leeren Rollen vorgesehen. Da eine Rolle jeweils mehrere hundert identische Etiketten enthält, lässt sich eine individuelle Etikettierung der Flaschen nur schwer realisieren.

Bottling on Demand

Der Druck verschiedenster Bilder auf eine Flasche bietet weit mehr Flexibilität und Individualisierung als es bei Etiketten je möglich ist. Prinzipiell sind der Drucktechnik keine Grenzen gesetzt. Für die Konzeptstudie wurden 12 Design-Bilder vorbereitet, von denen der Kunde ein Bild wählen kann. Die wirkliche Individualisierung und somit Erstellen eines Produkts der Losgröße 1 wird dem Kunden dadurch ermöglicht, dass er einen zweizeiligen, individuellen Text auf die Flasche drucken lassen kann. Das Drucksystem generiert dadurch ein einmaliges Druckbild, das unmittelbar auf die Flasche aufgetragen wird.



Abbildung 6: Individualisiertes Design mit Direktdruck

Dynamisches Produktionssystem/Transportsystem

Standard

Kontinuierlicher Flaschenstrom

In einer Fülllinie werden die Flaschen auf einem Transportband transportiert. Beim Einlauf in eine Maschine werden die Flaschen vereinzelt, bearbeitet und anschließend wieder zusammengeführt. Auf den breiten Transportbändern werden die Flaschen nicht mehr einzeln geführt oder gehalten. So kann es, vor allem in den Pufferbereichen, dazu kommen, dass Flaschen sich gegenseitig überholen. Ein Nachverfolgen einer einzelnen Flasche ist nicht möglich.

Bottling on Demand

Für den geführten Flaschentransport wird ein Langstatorsystem mit Shuttles verwendet. Ein Shuttle transportiert immer eine einzelne Flasche. Dem Shuttle wird am Anfang der Produktionstrasse eine Flasche übergeben. Es befördert die Flasche zu den einzelnen Produktionsschritten (Drucken, Füllen, Verschließen, ..) und gibt die fertig produzierte Flasche an der Ausgabestation ab. Während der Produktion herrscht eine dauerhafte 1:1 Beziehung zwischen Shuttle und Flasche.



Abbildung 7: Transportsystem mit 1:1 Verknüpfung zwischen Shuttle und Flasche

Produktverfolgung:

Standard

In der Produktion gibt es einen breiten Flaschenstrom, sodass keine direkte Identifizierung der einzelnen Flasche möglich ist. Soll jedoch die Flasche hinsichtlich ihrer Qualität (Füllhöhe, Kronkorken, Beschädigung, ..) untersucht werden, so muss müssen die Flaschen gezielt vereinzelt werden. Nur dann können die Flaschen auf verschiedenen Merkmale untersucht und gegebenenfalls aus der Produktion genommen werden. Nur innerhalb der Inspektionseinheit wird die Identität der Flasche

wahrgenommen und für den Zeitraum der Untersuchung lokal gespeichert. Nach dem Verlassen der Inspektionseinheit ist jede Information der einzelnen Flasche verloren.

Bottling on Demand

Jede Flasche wird mit einem RFID-Tag ausgestattet. Dieser befindet sich in der Verschlusskappe der Flasche. Nach dem Verschließen der Flasche wird dieser Tag mit den Produktionsdaten beschrieben, z.B. Produktionszeitpunkt oder Auftragsnummer. Somit kann die Flasche jederzeit eindeutig über ihre Auftragsnummer identifiziert werden. Der hier verwendete Chip lässt durch die NFC-Funktion ein Nachverfolgen der Produktionsdaten bis hin zum Konsumenten mit Smartphone zu.



Abbildung 8: RFID im Verschluss zur Produktverfolgung

Auftragssystem

Standard

Der Anlagenbediener muss bei einem Produktwechsel die komplette Fülllinie mechanisch umrüsten und das neue Produkt an den einzelnen Maschinen (Blasmaschine, Füller, Etikettierer, ...) einstellen. Die Maschine erhält dadurch genau einen „Auftrag“ zur Produktion vieler gleicher Flaschen.

Bottling on Demand

Für jede Flasche gibt es eine eigene „Sorte“. Der Kunde konfiguriert sich seine Flasche, das zugehörige Datenpaket wird an das Auftragssystem übergeben. Dieses System verwaltet die Aufträge und kümmert sich darum, dass die Maschine zur richtigen Zeit ihre Daten erhält und die Flasche produzieren kann

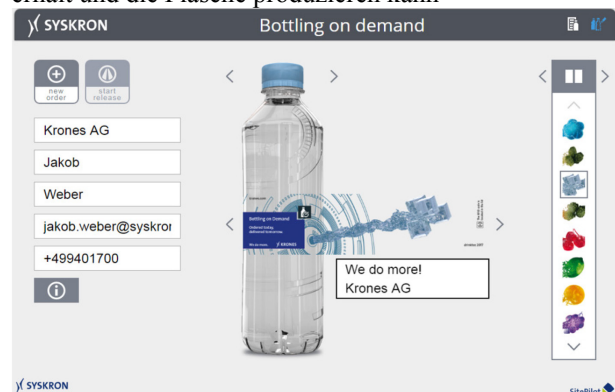


Abbildung 9: Bestellansicht mit Konfiguration des Produkts

BESTELLPROZESS UND DYNAMISCHE PRODUKTION

Datengenerierung

Dem Kunden steht ein Tablet zur Verfügung. Mit Hilfe einer App wird der Kunde durch den Bestellprozess geführt. Während er seine Flasche konfiguriert, wird ihm der prognostizierte Produktionszeitpunkt für sein Produkt angezeigt. Entschließt sich der Kunde bei der Bestellung seine E-Mail mit anzugeben, erhält er zudem eine Benachrichtigung, sobald seine Flasche produziert und zur Abholung bereitliegt.

Datenverwaltung

Ein Auftragssystem kümmert sich um die Verwaltung der Daten. Da mehrere Tablets mit der Bestell-App zur Verfügung stehen, kümmert sich das Auftragssystem um die richtige zeitliche Einordnung der Bestellungen.

Einplanung der Aufträge an der Maschine

Das Auftragssystem prüft permanent die aktuell wartenden Aufträge. Sobald ein Auftrag zur Produktion freigegeben ist, wird das Datenpaket der Bestellung an die „Bottling on Demand“ weitergeleitet. Das Auftragssystem steuert somit die Einplanung und die Produktionsreihenfolge der Aufträge. Ist die Maschine bereit und sind Kapazitäten frei, so wird der Auftrag sofort bearbeitet. Sind gerade keine Shuttles frei, die sich um den Auftrag kümmern, wartet die Maschine bis ein Shuttle den Auftrag annehmen kann.

Produzieren des Auftrages

Produktion aus Maschinensicht

Dem Shuttle wird die Flasche mit der gewünschten Größe übergeben. Anschließend fährt das Shuttle weiter zum Druckmodul, in dem der Behälter individuell

bedruckt wird. Im Weiteren wird die Flasche noch mit dem Wunschprodukt und -deckel versehen. Der RFID-Schreiber hinterlegt im NFC-Label im Deckel die Produktionsdaten (Produktionszeit, Auftragsgeber, Auftragsnummer,...). Anschließend wird die fertig produzierte Flasche der Ausgabestation übergeben. In der Ausgabestation erkennt ein RFID-Leser, an welcher der 30 möglichen Ausgabepositionen innerhalb der Ausgabestation sich die Flasche genau befindet.

Produktion aus Sicht des Kunden

Nach Auftragseingang erhält der Kunde eine E-Mail zu seiner Produktion. Über einen Link gelangt er auf eine Übersichtsseite auf der er den Produktionsfortschritt seiner Bestellung beobachten kann. Er sieht seine Flasche im Auftragssystem aufgenommen, und zu welcher Zeit die Produktion anvisiert wird.

Ist die Produktion seines Auftrages gestartet, wird der Auftrag als aktiv gekennzeichnet und der Startzeitpunkt vermerkt.

Wurde die Flasche an die Ausgabescheibe übergeben wird die Übergabeposition erfasst. Der Kunde erhält eine zweite E-Mail, die ihn über die Fertigstellung seines Produkts informiert und ihm die Position seiner Bestellung auf der Ausgabescheibe mitteilt.

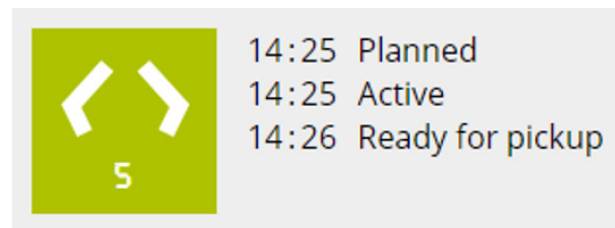


Abbildung 10: Online-Statusanzeige des Auftrags

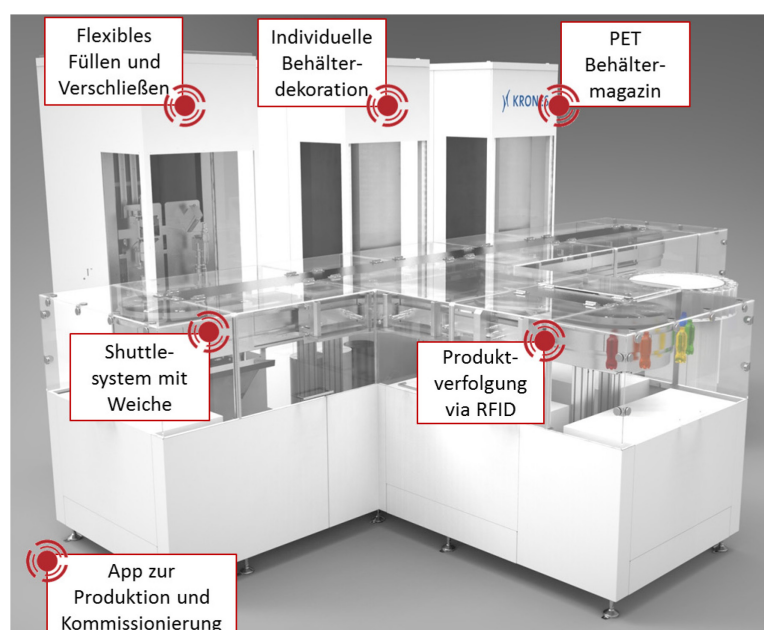


Abbildung 11: Übersicht der Innovations-Hotspots

SOFTWAREARCHITEKTUR

Um die Erstellung einer langfristig und modular erweiterbaren Software zu gewährleisten, wird die Software nach funktionalen Bereichen getrennt und dezentral von eigenen Steuerungen verwaltet. Daraus ergeben sich für die gesamte Maschine folgende komplett selbstständige Funktionen (Module):

- Flasche auf Shuttle laden (Beladung)
- Flasche bedrucken (Drucker)
- Flasche füllen (Füller)
- Flasche verschließen (Verschließer)
- RFID-Label beschreiben (RFID-Schreiber)
- Ausgabe der Flasche (Ausgabescheibe)
- Flasche transportieren (Transportsystem)

Das Auftragssystem umfasst folgende Aufgaben:

- Bestellungen aufnehmen (Bestellsystem)
- Aufträge verwalten (Auftragsverwaltung)
- Ordnen und Einplanen der Aufträge (Auftragsplanung)

Bestellsystem

Der Benutzer konfiguriert seine Flasche und gibt diese Bestellung zur Produktion frei. Die Konfigurationsdaten werden um eine eindeutige Auftragsnummer und die geplante Produktionszeit erweitert.

Wird die geplante Produktionszeit der Bestellung erreicht, gibt die Auftragsplanung den Auftrag an die Maschine weiter. Die Flasche wird nun für den Kunden produziert. Während der Produktion werden alle Informationen zum Auftrag kontinuierlich an das Auftragssystem zurückgemeldet (Flasche wurde erfolgreich auf Shuttle verladen, Flasche wurde erfolgreich gedruckt, ...). Eine Nachverfolgung der aktiven Produktion ist für den Kunden in Echtzeit möglich.

Maschinenübersicht

Da das Auftragssystem das Einplanen der Aufträge in die Maschine steuert und somit großen Einfluss auf die Maschine hat, läuft aus sicherheitstechnischen Gründen die Kommunikation zwischen den einzelnen Modulen und dem Auftragssystem über einen Vermittler (siehe Graphik). Dieser Vermittler kontrolliert die empfangenen Daten und gibt an jedes Modul nur die jeweilig relevanten Daten weiter. So können die Schnittstellen von Vermittler zu den einzelnen Modulen schlank gehalten werden.

Im Rückfluss sammelt der Vermittler alle wichtigen Statusinformationen der Module ein und gibt diese an das Auftragssystem weiter (rot Pfeile).

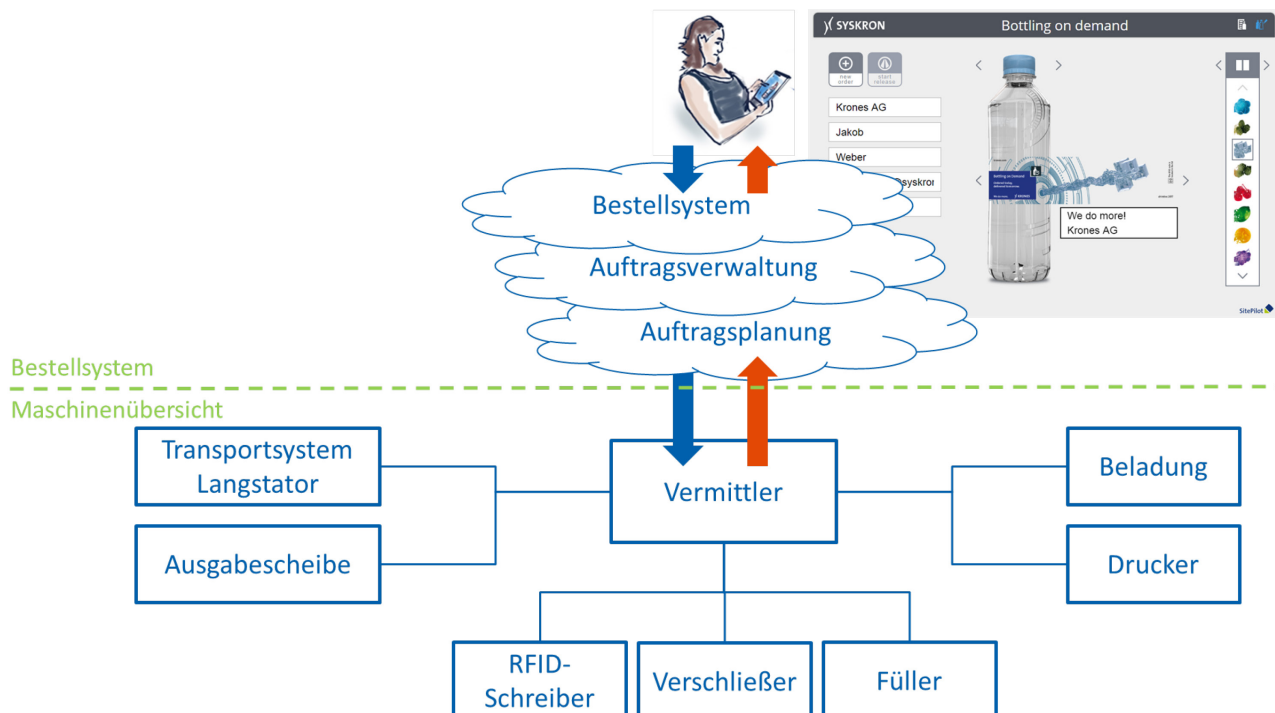
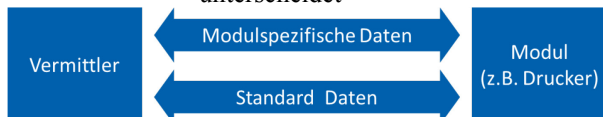


Abbildung 12: Softwarearchitektur mit Modul-/Funktionseinteilung

AUFBAU DER SOFTWARE

Der Aufbau der Software ist wie folgt strukturiert:

- Jedes Modul enthält eine Steuerung
- Eine modul-unabhängige Steuerung vermittelt zwischen den einzelnen Modulen (im weiteren „Vermittler“ genannt)
- Die Schnittstelle zwischen Modul und Vermittler ist definiert in zwei Teilen:
 - eine Standard-Schnittstelle, die an allen Modulen gleich ist
 - eine Modulspezifische Schnittstelle, die sich von Modul zu Modul unterscheidet



Beschreibung des Modul-Programms

Wird eine Flasche in die Produktionslinie eingeplant, stellt der Vermittler dem Modul die benötigten Produktionsdaten zur Verfügung (über die modulspezifische Schnittstelle). Anschließend wird die Flasche vom Modul übernommen und bearbeitet. Während dieses Bearbeitungsprozesses gibt das Modul über die Standard-Schnittstelle den Fortschritt des Prozesses zurück. In dieser Phase arbeitet das Modul selbstständig und kann von außen nicht mehr an der Abarbeitung des Auftrages gehindert oder gestoppt werden. Ist der Auftrag beendet bzw. das Ziel erreicht (z.B. Flasche wurde auf Shuttle geladen, Flasche wurde bedruckt/gefüllt/verschlossen/ an die Ausgabe übergeben, ...) wartet das Modul auf den nächsten Auftrag.

Das Modul arbeitet als eine Black-Box. Der Vermittler stellt nicht mehr als die benötigten Bestelldaten für das Modul bereit. Der Vermittler kennt nicht die interne Funktionsweise oder die Datenverarbeitung innerhalb des Moduls. Der Vermittler ruht, bis das Modul die Daten-/Produktbearbeitung abschließt und ein Ergebnis übermittelt.

Beschreibung des Vermittler-Programms

Um neue Anforderungen oder notwendige Änderungen der Konzeptstudie einfach und schnell umsetzen zu können wurde das Softwareprogramm modular entwickelt. Dazu wurde das Programm in einzelne funktionale Bereiche geteilt und eine Querkommunikation zwischen diesen unterbunden. Ein „indirekter Datenaustausch“ findet nur über einen

gemeinsamen Datenpuffer der aktiven Aufträge statt. Mit der Datenkapselung wurde eine Querkommunikation zwischen funktionalen Bereichen ausgeschlossen. So konnte die Software übersichtlicher gestaltet und Modifikationen leicht eingepflegt werden.

Übersicht über die einzelnen Programmbereiche:

Software für die Kommunikation zum modul-unabhängigen Auftragssystem

- Kontrolle der eintreffenden Aufträge vom Auftragssystem
- Ablegen der zu bearbeitenden Aufträge im internen Auftragspuffer in der Steuerung

Software für die Kommunikation zu den einzelnen Modulen

- Weitergabe der richtigen Produktionsdaten an das bearbeitende Modul
- Abspeichern der Prozessdaten zum Auftrag, z.B. Flasche wurde von Drucker fehlerfrei bearbeitet, Bearbeitung durch Füller steht noch aus

Kommunikation zur Organisation des Transportsystems

- Über die Prozessdaten zu jedem Auftrag wird erkannt, wann die Produktion an einem Modul abgeschlossen wurde. Anhand der Prozessdaten wird festgelegt, an welchem Modul der Auftrag als nächstes bearbeitet werden muss

Bereitstellung von Daten zu externen Systemen

- Kontrollierter Zugriffspunkt für externe Systeme (z.B. Datenerfassung, Diagnose/Analyse, Monitoring)
- Bereitstellen der aktuellen Prozessdaten zu jedem Auftrag
- Bereitstellen der Statusinformationen zu jedem Modul

Modulunabhängige Anlagenorganisation

- Alarmlogging und -meldesystem
- Sicherheitsfunktionen (Not-Halt/Gefährdungsüberwachung)
- HMI-Ansteuerung

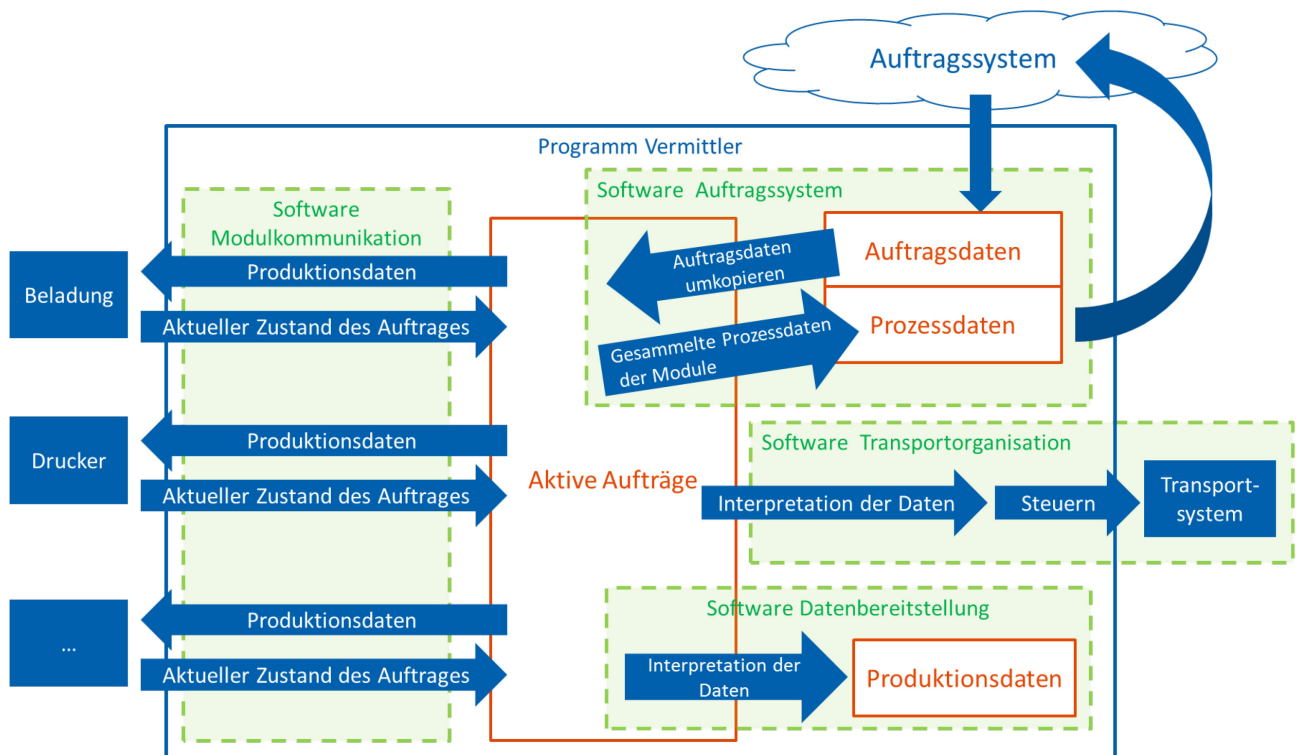


Abbildung 13: Softwarearchitektur der BoD

VERGLEICH ZU AGENTENSYSTEMEN

Beschreibung Agenten

Der Begriff Agent oder Agentensystem ist nicht einheitlich definiert oder genauer beschreiben. Vielmehr ist durch das Beschreiben der verschiedenen Attribute und Anforderungen der Begriff „Agent“ eingegrenzt. Werden verschiedene Schriftstücke zu diesem Thema verglichen, dann tauchen immer wieder die Anforderungen auf: (Woolridge, 2002)

Autonomie

Ein Agent handelt autonom, d.h. er führt seine Aktionen aus ohne ständige Intervention seines Benutzers bis er sein Ziel (für das er bestimmt ist) erreicht hat.

Reaktivität

Ein Agent handelt reaktiv, wenn er auf äußere Einflüsse reagiert und sein Handeln danach ausrichtet. In der Automatisierungstechnik bedeutet dies, über Sensoren seine Umwelt zu erfassen und auf diese durch das Ansteuern von Aktoren reagieren zu können.

Intelligenz/Lernfähigkeit

Ein Agent ist lernfähig, wenn er aus seiner Umgebung und aus der Erfahrung, sein Ziel zu erreichen, lernt. Außerdem bezieht er zur Erreichung seines Ziels die Präferenzen oder Wünsche seines Benutzers mit ein. (Sattler, 1999)

Kommunikation / Interaktion mit anderen Agenten

Ein Agent kann, wenn es das Erreichen seines Ziels positiv beeinflusst, mit anderen Agenten kommunizieren und mit diesen Informationen austauschen.

Weitere wichtige Begriffe zum Einordnen von Agenten:

Intelligenter Software-Agent

Ein Intelligenter Software-Agent besitzt einen gewissen Grad an Intelligenz, um für einen Benutzer Aufgaben zu erledigen. Seine Aufgaben führt er in Teilen autonom aus (Brenner, Zarnekow, & Hartmut, 1998)

Multiagentensysteme

„Society of agents capable to interact to achieve individual objectives, when they don't have enough knowledge and/or skills to achieve them alone“ (Engineering Handbook, 2013).

Aus obiger Definition geht hervor, dass Agenten, um ihr Ziel zu erreichen, sich mit anderen Agenten austauschen, wenn es ihnen entweder an Wissen oder an der Fähigkeit, ein Problem/eine Aufgabe zu lösen, fehlt. Sie schließen sich daher zu Multiagentensystemen zusammen.

Vergleich zur Modul-Steuerung

Vergleicht man die Funktionen der einzelnen Module (Beladung, Drucker, Füller, ...) mit der Anforderungsbeschreibung eines Agenten, erkennt man, dass die Module einige Eigenschaften der Agentensysteme aufweisen:

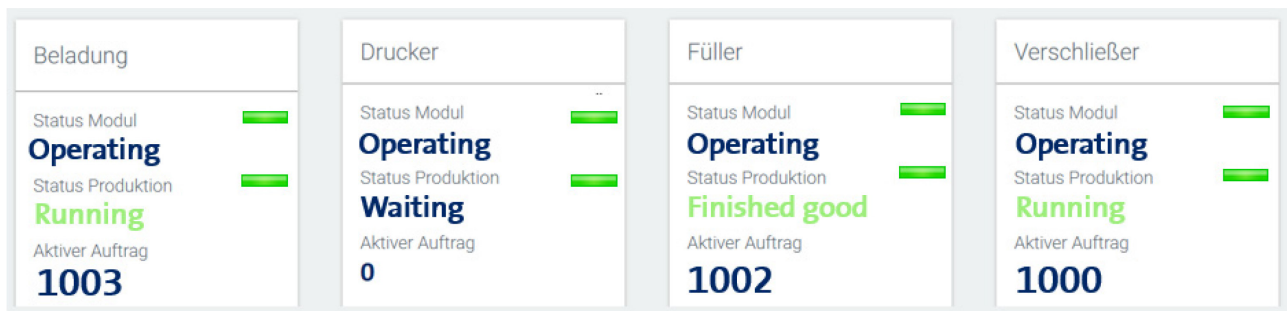


Abbildung 14: Übersicht über die einzelnen Module

Autonomie

Die Programme der einzelnen Module wurden so umgesetzt, dass sie selbstständig arbeiten und ihre Aktion (Beladen der Flasche auf das Shuttle, Drucken der Flasche, Füllen der Flasche, ...) immer zu Ende führen und nicht von außen, z.B. durch einen Benutzer oder durch den Vermittler, unterbrochen werden kann.

Reaktivität

Die Module weisen auch ein reaktives Verhalten auf. Über Sensoren wird der eigene Zustand erfasst (Füllhöhe der Deckel, Füllstand der Sirupe, ...). Einflüsse der Umwelt werden über Sensorik erkannt und ggf. zum Erreichen des Ziels berücksichtigt.

Abbildung 14 zeigt den modularen Aufbau der einzelnen Module. Jedes dieser Module generiert anhand seiner inneren Zustände einen nach außen sichtbaren Modulzustand (hier: Operating; d.h. das Modul kann produzieren). Bei aktiv laufender Produktion eines Moduls wird der Produktionszustand (Running/ Waiting/ Finished good) und gegebenenfalls die Auftragsnummer des gerade bearbeitenden Auftrags (hier: 1003, 1002, 1000) übermittelt.

Vergleich zum Vermittler-Programm

Betrachtet man das Softwareprogramm genauer, erkennt man aufgrund der gekapselten Programmierung einzelne Programmteile die als Softwareagenten verstanden werden können. Sie arbeiten selbständig und autonom ihre Aufgaben ab. Der Inhalt des Speicherbereichs „aktive Aufträge“ stellt für all diese Softwareagenten eine gemeinsame Umwelt dar, auf deren Änderungen und Reize reagiert wird.

Softwareagent Auftragsplanung

Wird ein neuer Auftrag eingeplant, so legt der Agent den Auftrag mit all seinen Auftragsdaten in den Datenspeicher „aktive Aufträge“ ab. Sind gerade keine Kapazitäten frei, wartet der Agent so lange bis ein Bereich frei wird. Dieses Warten kann von außen, durch Einplanen eines neuen Auftrages nicht unterbrochen werden. Erst wenn er sein Ziel (Auftrag wurde in den „aktiven Aufträgen“ aufgenommen) erreicht hat, wird der nächste Auftrag berücksichtigt.

Softwareagent Modulkommunikation

Erreicht ein Shuttle ein Modul wird der Agent aktiv. Er erkennt, dass sich ein Auftrag vor einem Modul befindet. Über die Auftragsnummer findet er in den „aktiven Aufträgen“ die Produktionsdaten, die das jeweilige Modul benötigt und stellt es für das Modul bereit. Der Agent hat eines seiner Ziele erreicht (die Daten für das Modul wurden bereitgestellt) auch wenn das Modul nicht (sofort) mit der Bearbeitung des Auftrages beginnt. Während Aufträge von den einzelnen Modulen bearbeitet werden legt der Agent den aktuellen Zustand der Auftragsbearbeitung (Auftrag gestartet → Auftrag gut/schlecht abgeschlossen) für die Aufträge ab. Beendet ein Modul seine Arbeit (Auftrag gut abgeschlossen) und wechselt in den Zustand „Frei für den nächsten Auftrag“, ist die Arbeit des Agenten für dieses Modul beendet.

Softwareagent Transportorganisation

Der Agent, erkennt, dass an einem Modul der Auftrag erfolgreich abgeschlossen wurde und schickt das Shuttle an das nächste Modul, an dem der Auftrag im nächsten Schritt bearbeitet werden soll. Dabei gibt der Agent „Transportorganisation“ an den Agenten „Transportsystem“ nur die Information weiter, welches Modul als nächstes angefahren werden soll. Wie das Ziel (Flasche soll zum Füller transportiert werden) erreicht wird, ist Aufgabe des Moduls Transportsystems.

Softwareagent Datenbereitstellung

Der Agent sammelt alle wichtigen Informationen eines Auftrages und stellt diese gebündelt für ein System außerhalb der Maschine zur Verfügung. Dadurch können die Daten z.B. durch ein ausgelagertes Diagnosesystem gelesen und interpretiert werden ohne dass die Daten direkt von den einzelnen Modulen geholt werden müssen.

Parallelen zum föderalen Agentensystem

In Agentensystemen geht man davon aus, dass jeder Agent mit jedem kommuniziert. Dies bedeutet aber auch einen großen Verwaltungsaufwand, da jeder jeden kennen muss, um mit ihm kommunizieren zu können. Für Systeme, die sich einfach und dynamisch erweitern lassen sollen, ist diese Art der Kommunikation oftmals nicht leicht möglich.

Das föderale System verfolgt hier den Ansatz, die Kommunikation der einzelnen Agenten zueinander über einen Vermittler („Broker“) laufen zu lassen.

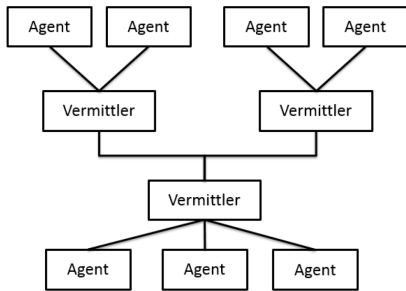


Abbildung 15: föderales Agentensystem

Dieser Aufbau des Agentensystems ist sehr ähnlich zur Strukturierung der Software in der Konzeptstudie „Bottling on Demand“.

Der Vorteil des föderalen Agentensystems liegt in der leichten Integration eines neuen Moduls (oder Agenten), da nur eine einzige Schnittstelle zwischen Agent und Vermittler eröffnet werden muss. Der Vermittler organisiert selbstständig die Kommunikation zwischen neuem und alten Agenten. Siehe Quelle: (Intelligente Agenten)

Weiterentwicklung des Vermittlerprogramms

Die Aufgaben der vorgestellten Softwareagenten kann auch in das Steuerungsprogramm der einzelnen Module bzw. in das Auftragssystem ausgelagert werden. Zurück bleibt der Speicherbereich „aktive Aufträge“, der immer für alle verfügbar und erreichbar sein muss. Aus diesem zentral verbleibenden Speicher greift jedes Modul die für ihn relevanten Produktionsdaten des Auftrages ab und meldet den aktuellen Status eigenständig wieder zurück. Das Auftragssystem erkennt autonom die aktuelle Auslastung der Maschine und verplant die Kapazitäten für den neuen Auftrag selbstständig.

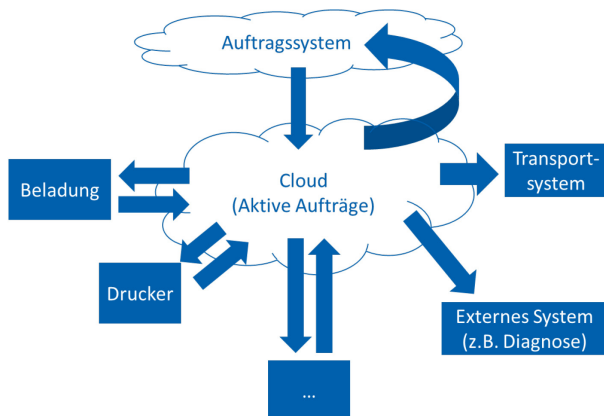


Abbildung 16: Nächste Stufe der Konzeptstudie

FAZIT

Ziel der „Bottling on Demand“ war das Aufzeigen der technischen Möglichkeiten für eine Flaschenproduktion mit maximaler Flexibilität, in diesem Fall bis zu Losgröße 1. Die Herausforderung lag in der

Funktionseinteilung der Module, um die Individualisierung in der Produktion zu realisieren.

Parallel zu der Konzeptstudie „Bottling on Demand“ mit Fokus auf Skalierbarkeit im Krones-Portfolio beteiligt sich Krones aktiv an dem Förderprojekt „RoboFill 4.0“. Dieses wird von der Bayerischen Forschungsstiftung gefördert und gemeinschaftlich mit weiteren Industriepartnern sowie Wissenschaftlern (TUM und Fraunhofer ICGV) bearbeitet.

Im Forschungsprojekt „RoboFill 4.0“ wird der Fokus stärker auf die „dezentrale Selbstorganisation der Produktion“ (Becker, Birle, Götz, & Voigt, 2016) gelegt. Hier treten mehr die für Industrie 4.0 bekannten Komponenten, wie das Gestalten der Anlagenkomponenten als Cyber-Physische Systemkomponenten oder Cloud-Technologien, in den Vordergrund (Becker, Birle, Götz, & Voigt, 2016), die im „Bottling on Demand“ nicht betrachtet wurden.

Die bei „Bottling on Demand“ gewonnenen Erkenntnisse im Füll- und Verschleißbereich können nun verwendet werden um als Forschungspartner im Projekt „RoboFill 4.0“ der Technischen Universität München ein hochflexibles Füll- und Verschleißmodul zu stellen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Becker, T., Birle, S., Götz, G., & Voigt, T. (09. 08 2016). *RoboFill 4.0*. Abgerufen am 10 2017 von Computer Automation: <http://www.computer-automation.de/feldebene/robotik/artikel/132797/>
- Brenner, W., Zarnekow, R., & Hartmut, W. (1998). *Intelligent Software Agents*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Grace project. (06 2013). Abgerufen am 28. 09 2017 von Grace project - Engineering Handbook: <http://grace-project.org/wp-content/uploads/download/D6.4-Engineering-Handbook.pdf>
- Intelligente Agenten. (kein Datum). Abgerufen am 29. 09 2017 von Intelligente Agenten: <http://bigmama.rhoen.de/pauki/work/diplom/diplom05.htm#Heading51>
- Sattler, K.-U. (1999). *Vorlesungsskript Software-Agenten zur Informationssuche und -filterung*. Magdeburg.
- Woolridge, M. (2002). *Intelligents Agents: The Key Concepts*.

KONTAKT

Jennifer Schöffel
 Digitalization and Data Technology
 Corporate Research and Development
 Krones AG
 Böhmerwaldstraße 5
 93073 Neutraubling
 E-Mail: jennifer.schoeffel@krones.com